

## Анализ области допустимых комбинированных маневров расхождения судна с двумя целями изменением курса и его активным торможением

В. Э. Пятаков

Национальный Университет «Одесская Морская Академия», Одесса, Украина  
Corresponding author. E-mail: burmaka-mob@ukr.net

Paper received 16.12.18; Accepted for publication 20.12.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22-19>

**Аннотация.** Рассмотрен комбинированный маневр расхождения судна с двумя опасными целями изменением курса для уклонения от первой цели и торможением для того, чтобы пропустить вторую цель. Для данного типа маневра предложен способ формирования области допустимых значений его параметров. Произведен анализ предложенной области допустимых значений параметров маневра и показано, что допустимый маневр расхождения достигается на границе области.

**Ключевые слова:** безопасность судовождения, процесс расхождения судов, комбинированный маневр расхождения, область допустимых маневров расхождения.

**Введение.** Для локально-независимого управления предложен способ комбинированного маневра расхождения судна с двумя опасными целями изменением курса для уклонения от первой цели и торможением для того, чтобы пропустить вторую цель. Для выбора такого маневра рассмотрена процедура формирования области его допустимых параметров и произведен анализ предложенной области.

**Краткий обзор публикаций по теме.** Принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов, а также анализ методов их реализации и современные оперативные способы повышения безопасности предупреждения столкновений судов освещены в работе [1]. Процесс взаимодействия судов при их опасном сближении и выбор стратегии расхождения в зависимости от уровня опасности ситуации сближения рассмотрены в работе [2]. Метод формирования гибких стратегий расхождения методами локально-независимого управления для расхождения оперирующего судна с несколькими опасными целями предложен в работе [3].

В работе [4] для описания процесса расхождения судов применяются методы теории дифференциальных игр. В работе [5] представлен метод определения параметров оптимального маневра расхождения пары судов, а способ учета динамики судна при повороте и навигационных опасностей для расчета параметров маневра расхождения судна представлен в работах [6, 7]. Стратегия экстренного расхождения судов в ситуации их чрезмерного сближении рассмотрена в работе [8].

**Цель.** Целью статьи является анализ особенностей области допустимых комбинированных маневров расхождения судна с двумя целями изменением курса и его активным торможением при его локально-независимом управлении.

**Материалы и методы.** Рассмотрим ситуацию, когда в начальный момент времени судно с параметрами движения  $K_c$  и  $V_c$  опасно сближается с двумя целями, параметры движения которых  $K_1, V_1, K_2$  и  $V_2$ . Относительная позиция судна и целей характеризуется пеленгами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , а также дистанциями  $D_1$  и  $D_2$ . Сближение судна с целями характеризует-

ся относительными курсами  $K_{oto1}$  и  $K_{oto2}$ , линии которых, как следует из рис. 1, проходят внутри предельно - допустимых кругов радиусом  $D_d$ , что свидетельствует об опасности сближения.

В приведенной ситуации рассмотрим комбинированный маневр расхождения судна с целями последовательно изменением курса для уклонения от первой цели и торможением для того, чтобы пропустить вторую цель.

В работе [9] для такой ситуации предложен способ формирования области  $\nabla_{K1, V2}$  допустимых комбинированных маневров расхождения судна с двумя целями изменением курса и его пассивным торможением. Каждой точке области  $\nabla_{K1, V2}$  соответствуют три параметра маневра расхождения: время  $t_y$  и курс  $K_y$  уклонения для расхождения с первой целью, а также скорость  $V_{cy}$  до которой понижается начальная скорость судна торможением, причем торможение начинается в момент времени  $t_y$ .

В случае применения активного торможения для формирования области  $\nabla_{K1, V2}$  и выбора с ее помощью маневра расхождения расчет продолжительности переходного процесса  $\tau(V_{cy})$  и пройденное за это время расстояние  $S(V_{cy})$  используются выражения для активного торможения судна [10]:

$$\tau(V_{cy}) = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} \left[ \arctg\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_c\right) - \arctg\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{cy}\right) \right],$$

$$S(V_{cy}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_c^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{cy}^2 + \frac{P}{\mu}} \right|,$$

где  $(1+k)m$  - масса судна с присоединенными массами воды;

$P$  - упор винта;

$\mu$  - коэффициент сопротивления.

**Результаты и их обсуждение.** Данный способ расчета границ области  $\nabla_{K1, V2}$ , позволяющей определение маневра расхождения судна с двумя опасными

целями последовательными изменениями курса и снижения скорости активным торможением был реализован в разработанной компьютерной имитационной программе. В качестве примера была рассмотрена ситуация опасного сближения с параметрами: параметры движения судна  $K_c = 75^\circ$ ,  $V_c = 23$  уз, параметры движения целей  $K_1 = 199^\circ$ ,  $V_1 = 20$  уз,  $K_2 = 16^\circ$ ,  $V_2 = 21$  уз, относительные позиции целей  $\alpha_1 = 36^\circ$ ,  $D_1 = 3$  мили,  $\alpha_2 = 135^\circ$ ,  $D_2 = 5$  миль, как показано на рис. 1.

Для указанной ситуации опасного сближения была сформирована область допустимых маневров  $\nabla_{K1, V2}$ , которая показана на рис. 2. На рис. 3 выбрана начальная точка  $(K_y^{(s,p)}, V_{cy})$ , принадлежащая границе области  $\nabla_{K1, V2}$ , для которой определены параметры маневра расхождения  $K_y = 86^\circ$ ,  $V_{cy} = 15$  уз,  $t_y = 284$  с, а на рис. 4 показаны относительные траектории расхождения.

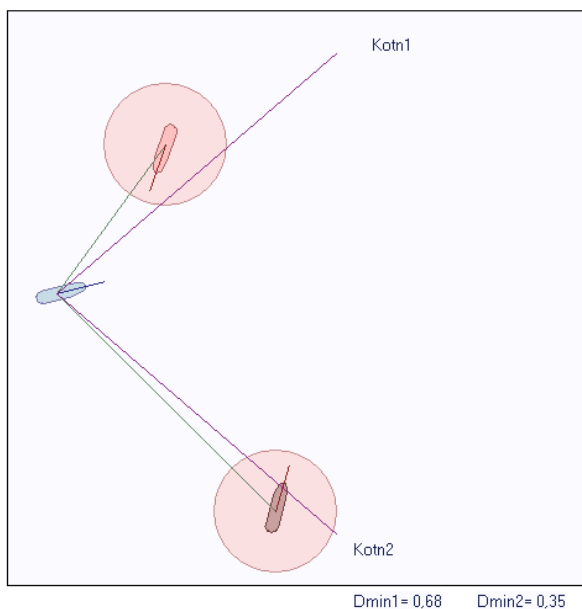


Рис. 1. Пример ситуации опасного сближения

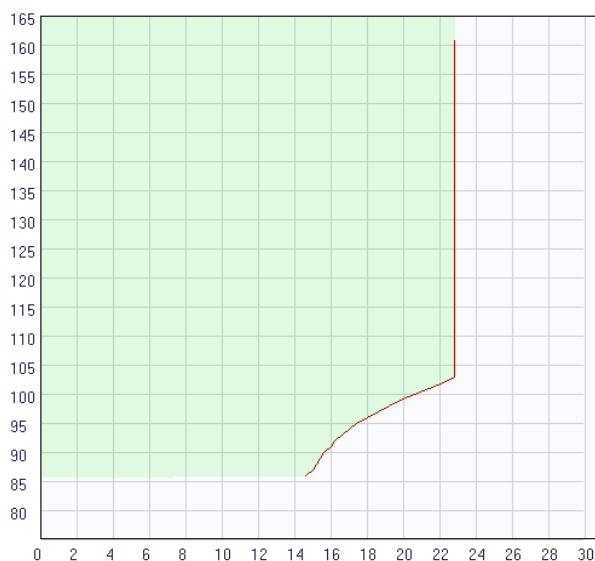


Рис. 2. Область допустимых маневров  $\nabla_{K1, V2}$

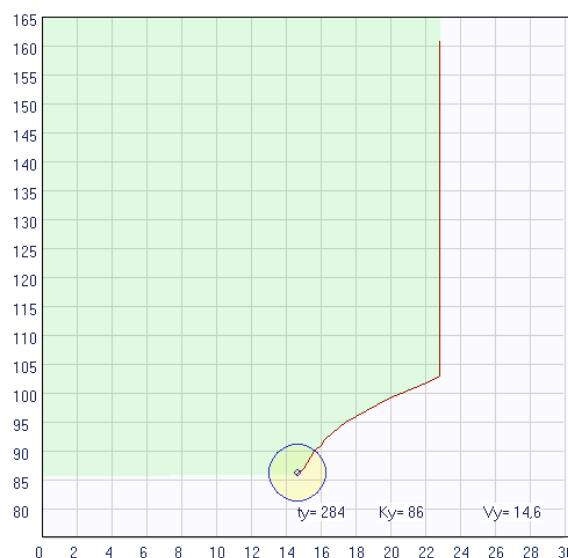


Рис. 3. Выбор начальной точки, принадлежащей границе области  $\nabla_{K1, V2}$

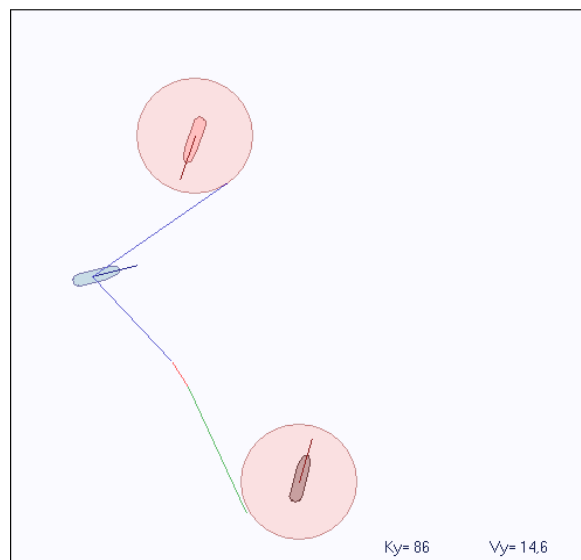


Рис. 4. Относительные траектории расхождения для граничной точки

Для произвольной точки  $(K_y^{(s,p)}, V_{cy})$ , принадлежащей границе области  $\nabla_{K1, V2}$ , которая показана на рис. 5, определены параметры маневра расхождения  $K_y = 98^\circ$ ,  $V_{cy} = 18,8$  уз,  $t_y = 293$  с.

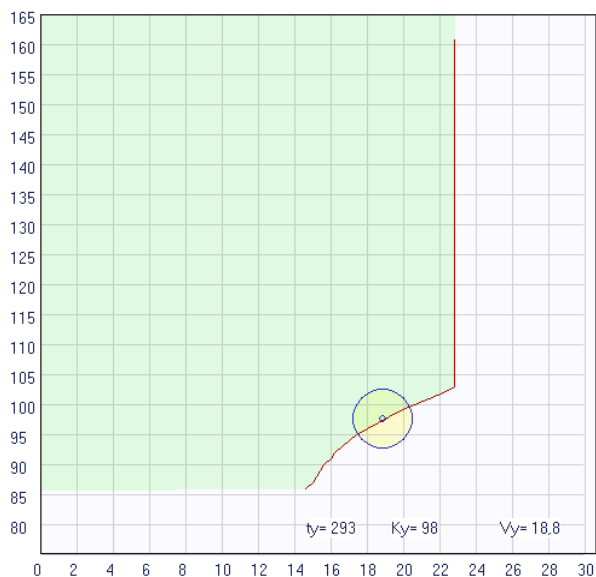


Рис. 5. Выбор произвольной точки границы области  $\nabla_{K1, V2}$

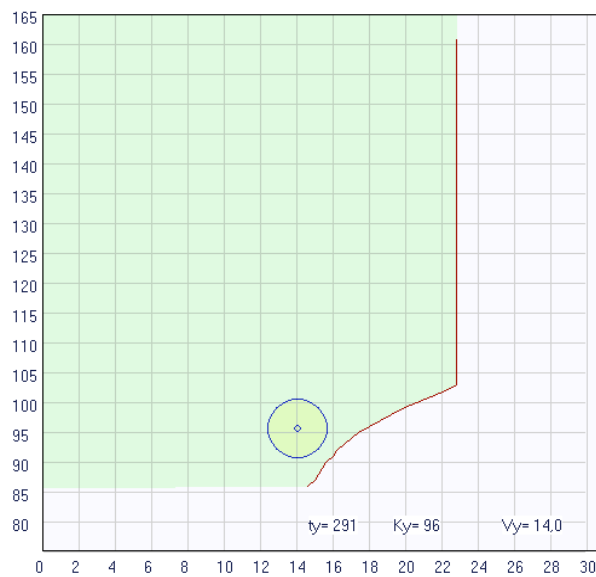


Рис. 7. Выбор точки  $(K_y^{(s,p)}, V_{cy})$  внутри области  $\nabla_{K1, V2}$

Относительные траектории расхождения показаны на рис. 6. Они проходят относительно обеих целей на заданном расстоянии.

Положение точки  $(K_y^{(s,p)}, V_{cy})$  внутри области допустимых маневров  $\nabla_{K1, V2}$  показано на рис. 7 и определены параметры маневра расхождения, которые принимают значения  $K_y = 98^\circ$ ,  $V_{cy} = 14$  уз,  $t_y = 291$  с.

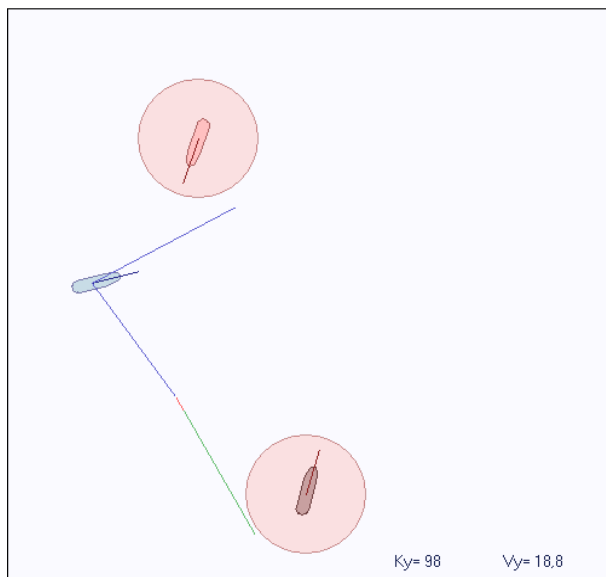


Рис. 6. Относительные траектории для произвольной точки границы

На рис 8 приведены относительные траектории расхождения для выбранной точки, причем дистанции кратчайшего сближения для обеих целей превосходят предельно – допустимую дистанцию сближения.

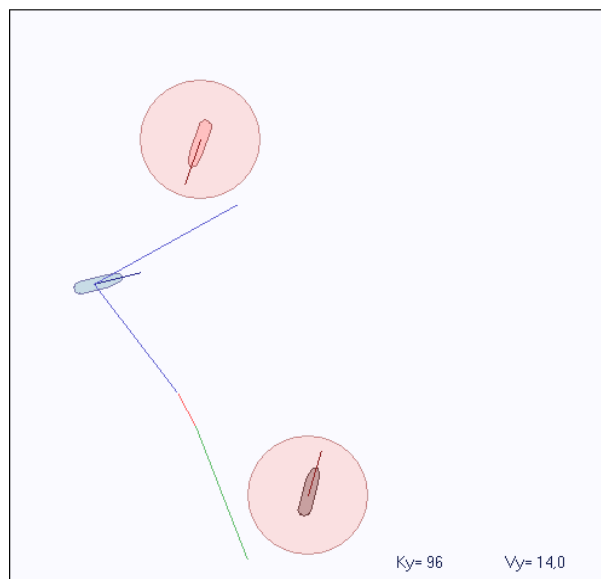


Рис. 8. Относительные траектории для точки внутри области  $\nabla_{K1, V2}$

Приведенные примеры показывают, что для расхождения судна с двумя опасными целями комбинированным маневром целесообразно выбирать точки  $(K_y^{(s,p)}, V_{cy})$ , которые находятся на границе области  $\nabla_{K1, V2}$ , причем оптимальной является начальная точка границы.

#### Выводы

1. Предложен комбинированный маневр расхождения судна с двумя целями изменением курса и его активным торможением при его локально-независимом управлении.

2. Проведен анализ области допустимых комбинированных маневров расхождения и показано, что допустимый маневр расхождения достигается на границе области.

3. Оптимальный комбинированный маневр расхождения судна соответствует начальной точке границы области.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), - 2016. - 585 с.
2. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. - Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.
3. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. - 424 с.
4. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. - Gdańsk. - P. 71 - 78.
5. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / И.В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.
6. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. - 2003. - №6. - С. 103 - 107.
7. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. - 2005. - №10. - С. 21 - 25.
8. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А.И., Бужбецкий Р.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. - 202 с.
9. Бурмака И.А. Маневр последовательного расхождения с двумя целями изменением курса и пассивным торможением / Бурмака И.А., Пятаков Э.Н. // East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. - С. 19 - 24.
10. Демин С.И. Торможение судна / Демин С.И.- М.: Транспорт, 1975.- 81с.

#### REFERENCES

1. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A.- LAP LAMBERT Academic Publishing, - Saarbrücken (Germany), - 2016. - 585 p.
2. Pyatakov E. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E., Buzhbetskiy R., Burmaka I., Bulgakov A., Kherson: Grin D.S., 2015. - 312 p.
3. Tsymbal N. Flexible strategies of divergence of vessels / N. Tsymbal, I. Burmaka, E. Tyupikov, Odessa: KP OGT, 2007. - 424 p.
4. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. - Gdańsk. - P. 71 - 78.
5. Safin I.V. Choice of optimum maneuver of divergence / I.V. Safin // Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv. - 2002.- №7. - p. 115 -120.
6. Petrichenko E.A. Conclusion of condition of existence of great number of possible manoeuvres of divergence taking into account navigation dangers/ Petrichenko E.A. // Sudovozhdenie.- 2003.- №6. - p. 103 - 107.
7. Burmaka I.A. Results of imitation design of process of divergence of vessels taking into account their dynamics / Burmaka Y.A.// Sudovozhdenye: sb. nauchn. trudov. - 2005.- №10. - P. 21 - 25.
8. Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / Burmaka I., Burmaka A., Buzhbetskiy R. - LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. - 202 p.
9. Burmaka I.A. Manoeuvre of successive divergence with two aims by the change of course and passive braking / Burmaka I.A., Pyatakov E.N.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. - P. 19 - 24.
10. Demyn S.I. Braking of ship / Demyn S.I.- M.: Transport, 1975.- 81p.

#### **Analysis of region of the possible combined manoeuvres of divergence of ship with two targets by the change of course and his active braking**

##### **V. E. Pyatakov**

The combined maneuver of divergence of ship with two dangerous targets is considered by the change of course for deviation from the first target and braking in order to skip the second target. For this type of maneuver the method of forming of region of acceptability his parameters is offered. The analysis of the offered region of acceptability parameters of maneuver is produced and it is shown that is achieved the possible maneuver of divergence on the border of region.

**Keywords:** safety of navigator, process of divergence of vessels, combined maneuver of divergence, region of possible maneuvers of divergence.